

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-306062

(43)公開日 平成8年(1996)11月22日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 7/135			G 1 1 B 7/135	Z

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平7-111580

(22)出願日 平成7年(1995)5月10日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 伊藤 顯知

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 新谷 俊通

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会

社日立製作所基礎研究所内

(74)代理人 弁理士 蔭田 利幸

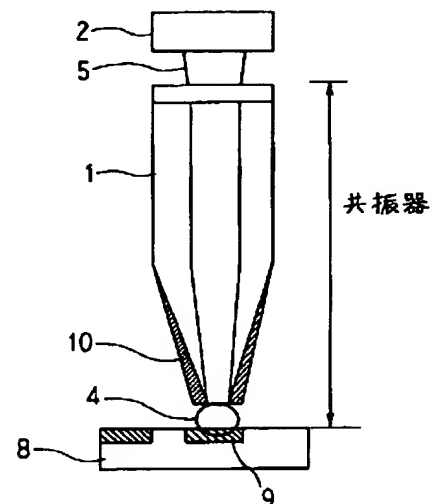
(54)【発明の名称】 光ヘッド及び光情報記録再生装置

(57)【要約】

【目的】超高密度、かつ、小型の光情報記録再生装置に用いるのに適した、光の利用効率を高めた光ヘッドを提供すること。

【構成】半導体レーザ1の一方向のミラー側に、そこから出射するレーザ光を検出する光検出器2を、このミラーと反対の側に、エバネセント光4を発生させる手段として半導体材料からなるプローブを設けるようにした光ヘッド。半導体レーザ1の一方の端面自体をプローブとしてもよい。プローブから発生したエバネセント光4により、記録媒体に情報を記録することができる。

図 5



1...半導体レーザ	5...レーザ光
2...光検出器	9...光記録ドメイン
4...エバネセント光	10...白金膜

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体レーザと、該半導体レーザの一方向のミラーから出射するレーザ光を検出する検出器と、上記半導体レーザの上記ミラーと反対の側に配置されたエバネセント光を発生させる手段とを有し、該エバネセント光を発生させる手段は、半導体材料からなるプローブであること特徴とする光ヘッド。

【請求項2】半導体レーザと、該半導体レーザの一方向のミラーから出射するレーザ光を検出する検出器とを有し、上記半導体レーザの上記ミラーと反対の側の端面がエバネセント光を発生させるためのプローブを構成すること特徴とする光ヘッド。

【請求項3】上記プローブは、錐形状であること特徴とする請求項1又は2記載の光ヘッド。

【請求項4】光情報記録媒体、該光情報記録媒体に情報を記録、再生するための光ヘッド、上記光情報記録媒体と上記光ヘッドの相対的位置を移動させるための移動手段並びに情報の記録、再生及び上記移動手段を制御するための制御手段を有する光情報記録再生装置において、上記光ヘッドは、請求項1から3のいずれかに記載の光ヘッドであることを特徴とする光情報記録再生装置。

【請求項5】上記光ヘッドは、浮上スライダに搭載されたことを特徴とする請求項4記載の光情報記録再生装置。

【請求項6】上記光情報記録媒体は、相変化型光情報記録媒体であることを特徴とする請求項4又は5記載の光情報記録再生装置。

【請求項7】上記光情報記録媒体は、穴あけ型光情報記録媒体であることを特徴とする請求項4又は5記載の光情報記録再生装置。

【請求項8】上記光情報記録媒体は、金属ドットを情報担体とする光情報記録媒体であることを特徴とする請求項4又は5記載の光情報記録再生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光情報の記録、再生等に用いる光ヘッド及びそれを用いた光情報記録再生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光情報記録再生装置の一つである光ディスク装置は、これまで大容量の記録媒体として注目されてきた。しかし、最近の磁気ディスク装置は、急速に大容量化に進展し、記録密度は1ギガビット/平方インチとなり、光ディスク装置とほぼ同等となった。そして、その大容量化の進展速度の差から、ここ数年で記録密度は光ディスク装置を追い抜くのは確実な状況となっている。

【0003】一方、光ディスク装置の高密度化は、使用する半導体レーザ光の短波長化、微小な情報記録マークを形成する技術及び光スポット径より小さい情報記録マ

ークを精度よく再生する技術の3つの方向から推進されてきた。第1のアプローチについては、最近II-VI族の半導体による緑色レーザの室温連続発振、ガリウム・窒素系のIII-V族半導体による青色発光ダイオードの製品化など画期的な進歩があり、第2、第3のアプローチも着実な進歩を遂げているが、これらを総合してもやっと1桁の記録密度向上が計れる程度であると推定されている。この根本的な原因は、光の回折現象により、光を光の波長より小さいビーム径に絞り込むことができないためである。

【0004】この限界を打ち破り、記録密度を現状より2桁向上する方法として、近接場（エバネセント場）を利用した光記録再生方法が注目されている。例えば、アプライド・フィジクス・レターズ、61巻、2号、142頁から144頁（Appl. Phys. Lett., Vol. 61, No. 2, pp. 142~144, 1992）に記載されているように、光ファイバの先端をコーン状に加工し、その先端の数10nmの領域以外を金属の被膜で覆ったプローブを作製し、これをピエゾ素子を用いた精密アクチュエータに搭載して位置を制御して、直径60nmの記録マークをプラチナ/コバルトの多層膜上に記録再生した例が報告されている。この例の場合、記録密度は45ギガビット/平方インチに達し、現状の約50倍とすることができ。さらに最近、アプライド・フィジクス・レターズ、63巻、26号、3550頁から3552頁（Appl. Phys. Lett., Vol. 63, No. 26, pp. 3550~3552, 1993）には、上記光ファイバとしてネオジウムがドープされているものを用い、レーザ発振を利用してS/N比を向上した例が報告されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術は、以下のような問題があった。まず第一に、信号レベルが小さいことが挙げられる。上記第2の従来例では、金の薄膜を成膜したガラス基板上に、プローブ先端の開口の回りがアルミニウムでコーティングされた光ファイバプローブを接近させ、10nm程度基板表面と垂直方向にプローブを移動させることで、約30%の強度変調シグナルを検出しているが、検出パワーは、入射光45mWに対し0.3mWと小さい。これは、光ファイバの屈折率が小さいため、入射した光が十分にプローブの先端まで伝搬しないためである。上記従来例では、その効率はわずか1%程度と見積もられている。第2に、ファイバレーザの緩和周波数が92KHzと極めて小さく、高速な情報転送が困難であることが挙げられる。

【0006】第3に、基板とプローブの距離をスキャニング・フォース顕微鏡を用いて、極めて精密に制御する必要があるため、例えば、光情報を記録したディスクを高速に回転した場合、ディスクの偏心によって生じる高い周波数の基板とプローブの距離の変動を制御しきれないという問題がある。第4に、上記従来例では情報を記

録する際の光強度の変調を、音響光学効果を用いた偏向器で行うため、数10MHz以上の変調が困難であるという問題がある。

【0007】本発明の第1の目的は、超高密度、かつ、小型の光情報記録再生装置に用いるのに適した、光の利用効率を高めた光ヘッドを提供することにある。本発明の第2の目的は、そのような光ヘッドを用いた、高速記録可能な光情報記録再生装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、本発明の光ヘッドは、半導体レーザの一方向のミラー側に、そこから出射するレーザ光を検出する検出器を、このミラーと反対の側に、エバネセント光を発生させる手段として半導体材料からなるプローブを設けるようにしたものである。

【0009】また、上記第1の目的を達成するために、本発明の光ヘッドは、半導体レーザの一方向のミラー側に、そこから出射するレーザ光を検出する検出器を設け、このミラーと反対の側の端面をエバネセント光を発生させるためのプローブを構成するようにしたものである。上記プローブは、錐形状、例えば、楕円錐形状、円錐形状等とすることが好ましい。プローブを半導体から構成することは、屈折率の高いために適切である。

【0010】さらに、上記第2の目的を達成するために、本発明の光情報記録再生装置は、光情報記録媒体に情報を記録、再生するための光ヘッドとして上記のいずれかの光ヘッドを用い、光情報記録媒体と光ヘッドの相対的位置を移動させるための移動手段と、情報の記録、再生及び上記移動手段を制御するための制御手段とから構成するようにしたものである。

【0011】上記光ヘッドは、浮上スライダに搭載されていることが好ましい。光ヘッドを浮上スライダに搭載し、エア浮上させれば記録媒体の高速の移動に追従させることができる。

【0012】

【作用】半導体レーザの検出器を設けた側と反対側に、半導体で形成されたプローブを設置するか又は半導体レーザの検出器を設けた側と反対側の端面自体をプローブにすることにより、入射した光を効率よくプローブの先端まで伝搬させることができる。また、エバネセント光と光情報記録媒体の相互作用の変化によって生じた僅かの変化を増幅し、大きな光出力変化として取り出すことができる。

【0013】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

〈実施例1〉図1は本発明の第1の実施例の光情報記録再生装置の光ヘッド近傍の斜視図である。波長830nmの半導体レーザ1で発生させられた光は、レーザ後方に設置された光検出器2でその出力をモニタされる。光

検出器側の端面は、10%の反射率になるようにコーティングされている。一方半導体レーザの他方の端面は、楕円錐形状のプローブ3に加工されている。プローブ先端の開口の周りには白金膜10がコーティングされている。このプローブよりエバネセント光4を発生することができる。発生されたエバネセント光は、基板7上に形成された相変化記録媒体8と相互作用し、光記録ドメイン9を形成する。

【0014】一方、情報再生時には、半導体レーザの注入電流を略しきい値まで落とし、記録情報の再生を行う。上記の光記録により、媒体の反射率が変化しているので、記録媒体とエバネセント光の相互作用の大きさが変化し、その結果、レーザ共振器の反射率が変化する。この僅かな変化がレーザ共振器により大きく増幅され、共振器からのレーザ光5のパワーが大きく変調される。このレーザ光5は、光検出器2に導かれて検出される。また、プローブ付きの半導体レーザ1、光検出器2は、高さ約0.5mm、長さ約2mm、幅約1.5mmの浮上スライダ6上に搭載されており、記録媒体とプローブの距離を一定距離に保つことができる。その分解能は、開口の大きさで決まるが、現状では約50nmの開口のプローブの作製が可能であり、記録密度として100ギガビット/平方インチ以上が可能となる。

【0015】さらに、本実施例によれば光ヘッドの大幅な小型化が可能である。従来の光ヘッドは、プローブとして光ファイバを用いていたため、装置が大規模であった。しかし本実施例では、小型のプローブ付き半導体レーザ1、光検出器2が、浮上スライダ6上に搭載されており、その大きさは現状の磁気ディスクと変わらない、極めて小さいものとすることができた。

【0016】次に、エバネセント光発生に用いる半導体プローブについて説明する。図2は、上記実施例で用いたプローブ付き半導体レーザの斜視図と断面図である。21はn型GaAs基板(厚さ約0.3mm)、22はn型AlGaAsクラッド層(厚さ10μm)で、AlとGaの組成比は0.5:0.5である。23はAlGaAsの活性層(厚さ0.3μm)で、AlとGaの組成比は0.14:0.86である。24はp型AlGaAsのクラッド層(図の左右の部分の厚さ1μm)で、AlとGaの組成比は0.5:0.5である。25はp型GaAsのコンタクト層(厚さ0.1μm)、26はn型GaAs層からなる電流障壁層(厚さ10μm)、27はp型GaAsのキャップ層(厚さ0.1μm)である。

【0017】プローブ部の作製方法の概略は以下の通りである。まずn型GaAs基板21上に、上記の各層をコンタクト層25まで積層する。クラッド層24、コンタクト層25を図のようにパターンニングし、この部分に電流障壁層26を選択成長させる。活性層23、クラ

ッド層24、コンタクト層25を同時にエッチングする。表面を平坦化し、キャップ層27を形成する。

【0018】活性層に平行な方向のテーパは、異方性エッチングを用いて形成する。すなわち、エッチング前に基板の上面、下面及び加工する端面の反対側の端面を耐エッチング材料である $\text{SiO}_2$ で覆い、次にこれを緩衝エッチング液( $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2=5:1:1$ )に浸漬する。このとき、エッチング速度はA1の組成の小さい活性層部分の方が遅いので、周辺部からエッチングが進行する。このようにして、最終的には略楕円錐形状のプロープが形成される。電流注入用の金電極28を形成したのち、最後にプロープに白金を蒸着し、イオンビームエッチングで白金をエッチングして開口を作製する。このプロープ付き半導体レーザの大きさは、厚さ約 $300\mu\text{m}$ 、幅約 $300\mu\text{m}$ 、長さ約 $300\mu\text{m}$ であった。

【0019】〈実施例2〉図3は、本発明の第2の実施例の光情報記録再生装置の光ヘッド近傍の斜視図である。波長 $830\text{nm}$ の半導体レーザ31は、そのプロープ側端面がAR(アンチレフレクション)コーティングされ、光検出器側の端面は、10%の反射率になるようにコーティングされている。半導体レーザ31で発生した光は、レーザ後方に設置された光検出器2でその出力をモニタされる。半導体レーザ31から出射した光は、半導体で形成された楕円錐形状のプロープ32に結合される。プロープ32の加工方法は、実施例1と同様である。プロープの開口と反対側の端面はARコーティングされている。

【0020】このプロープ32より発生されたエバネセント光は、基板7上に形成された相変化記録媒体8と相互作用し、光記録ドメイン9を形成する。また情報再生時には、半導体レーザの注入電流を略しきい値まで落とし、記録情報の再生を行う。上記の光記録により、媒体の反射率が変化しているので、記録媒体とエバネセント光の相互作用の大きさが変化し、その結果、レーザ共振器の反射率が変化する。この僅かな変化がレーザ共振器により大きく増幅され、共振器からのレーザ光5のパワーが大きく変調される。このレーザ光5は、光検出器2に導かれて検出される。

【0021】次に、この光情報記録再生装置の記録再生の原理について説明する。図4は、この光ヘッドにおける半導体レーザの駆動状態を説明した図である。まず記録時には、注入電流をしきい値電流より十分大きくバイアスし、光記録に必要なレーザパワーとする。実施例1で、共振器長Lは $300\mu\text{m}$ 、半導体レーザの吸収係数 $\alpha$ はGaAsを想定して $20(\text{/cm})$ 、光検出器側の半導体レーザの反射率R1は前記のように0.1とする。一方プロープ側も、光導波路がテーパ状になっており、かつ白金がコーティングされているため、プロープの近くに媒体がない場合でも、反射率R2は0.2程度

である。図2又は図3に示したプロープで、直径 $50\text{nm}$ のエバネセント光を発生させる場合、媒体とプロープ間の距離 $d=50\text{nm}$ とし、記録ドメインの有無による実効的なプロープ側の反射率変動は、従来の0.01にくらべて大きく、0.03程度となる。このとき、スロープ効率は $0.31(\text{W/A})$ となり、 $I_{th}=35.6(\text{mA})$ となる。

【0022】光情報記録媒体として相変化媒体を想定した場合、記録速度 $100\text{Mbps}$ の条件では、記録パワー $40\text{mW}$ が必要である。本実施例では、波長 $780\text{nm}$ 、対物レンズのNA0.55の現行装置の記録光スポット面積 $1.5\mu\text{m}^2$ に対し、スポットサイズが $0.002\mu\text{m}^2$ と約 $1/1000$ であるから、記録パワーとして、約 $0.04\text{mW}$ が必要となる。このとき共振器内の光パワーとして $1.3\text{mW}$ 、従って注入電流をしきい値電流より、約 $4\text{mA}$ 大きなところへ設定すればよい。また、記録に必要な $500\text{Mbps}$ 以上の高速変調は、半導体レーザの強度の直接変調で実現できる。従って、従来の音響光学素子を用いた変調器は不要となるだけでなく、将来の記録速度の向上にも $1\text{Gbps}$ 程度までは十分対応が可能となる。

【0023】一方上記プロープを用いた光ヘッドを用いれば、再生にはさらに大きなメリットがある。本光ヘッドの再生原理を図5を用いて説明する。再生時には、半導体レーザの注入電流はしきい値電流 $I_{th}$ にバイアスする。すでに述べたように、本光ヘッドでは、図5に示すように、半導体レーザ1の光検出器2側のミラーと、相変化記録媒体8の記録層の間で共振器が構成されている。情報ドメイン9の有無により、媒体の屈折率が変化する。その変化量は約50%であり、情報ドメインの有無により、実効的な反射率R2は0.03から0.015に変化する。このときしきい値電流 $I_{th}$ は、上記の場合、 $35.6$ から $35.9$ に $0.3\text{mA}$ 増える。そこで、上記バイアス電流を $35.9\text{mA}$ に設定した場合、ピットがある場合の光出力は $0.1\text{mW}$ となり、十分検出可能な値となる。実際は、自然放光のためしきい値電流においても光出力はゼロでないため、変調度は60%程度となるが、従来の30%に比べると大きな変調度が期待できる。また、半導体レーザのキャリアの緩和周波数は、 $\text{ns}$ オーダーであるから、その応答周波数は $1\text{GHz}$ 程度までは十分可能であり、従来例では不可能であった、高速再生、高速転送が可能となる。

【0024】〈実施例3〉図7は、本発明の光情報記録再生装置の一実施例の模式図である。ディスク63の上に、光ヘッドを搭載したスライダ72が配置され、このスライダ72は、トラッキング/アクセスドライバ73とアーム(図示せず)により連結されている。光ヘッドへの書き込み信号、光ヘッドからの再生信号は、信号処理回路75により制御、検出される。また、信号処理回路75は、走査制御回路74を制御し、走査制御回路7

4がモータ71、トラッキング／アクセスドライバ73を作動させて光ヘッドとディスク63の相対的位置を移動させる。

【0025】次に、位置決め、サーボ技術について説明する。前記従来の光記録、再生は、単に数10nm離れた点に次々に情報ピットを記録、再生したものであるが、本実施例では以下のようにしてトラッキングを行う。図6に示すように、まず、ディスク63には、プリピット61が予め形成されているサーボ領域64と、データ領域65がある。プリピット61はトラック中心62から、その中心が左右に一定距離ずれたところに配置されたウォブルピットである。この上を光ビームが走査された場合、もし光ビーム66がトラック中心からずれていると、連続した2つのプリピットからの信号にアンバランスが生じ、これらの信号の差をとってトラッキング誤差信号とする。その場合、前述のような光ビーム66、例えば、ビーム径 $a=0.05\mu\text{m}$ のものをを用いれば、トラックピッチ $0.1\mu\text{m}$ とすることができ、ウォブルピットのウォブル幅を $0.025\mu\text{m}$ 程度とする。この大きさは、現状の光ディスク原盤作製装置で作製可能であり、特別の技術を用いずに大量のレプリカ円板を容易に作製することができる。このときの記録密度としては前述のように約100ギガビット／平方インチが可能である。本実施例では、上記トラッキング誤差信号を用いてサンプル・トラッキングにより、トラック上への光ビームの位置決めを行う。また、通常の光情報記録再生装置とは異なり、ディスクとプローブの距離は空気浮上で制御するため、いわゆるフォーカシング・サーボ動作は不要である。以上のように、本実施例では位置決め方式が極めて簡単となっており、超高密度の光情報記録再生装置に特有の複雑な位置決め、サーボを行う必要がないという特徴を持つ。

【0026】最後に、本光情報記録再生装置のノイズについて説明する。本実施例においては、情報の再生時に半導体レーザを略しきい値電流で駆動する。半導体レーザのノイズは、半導体レーザを略しきい値電流で駆動する場合に著しく増加する。半導体レーザを略しきい値電流で駆動し、かつノイズの増加を抑圧するため、再生時は縦モードをマルチモードとして駆動することが望ましい。具体的には、しきい値電流付近で100から600MHz程度の高周波で電流値を変調する。これにより半導体レーザの縦モードをマルチ化し、再生時におけるノイズを大幅に低減することができる。

【0027】なお、上記各実施例は、記録媒体として相変化型の材料を用いた例を示したが、本発明では記録媒体として、相変化型の材料の外に、例えば、ポリカーボネート円板にけられた穴の有無で情報を得る穴あけ型の記録媒体、或はガラスやシリコン基板上に、例えば原子間力顕微鏡等で形成された金等の金属ドットを情報担体とする記録媒体も適用可能である。

## 【0028】

【発明の効果】本発明によれば、100ギガビット／平方インチクラスの超高記録密度を持ち、かつ、小型で、実用に十分なS/Nを持つ光情報記録再生装置を得ることができた。また、それに用いるのに適した光ヘッドを得ることができた。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の光情報記録再生装置の光ヘッド近傍の斜視図である。

10 【図2】本発明で用いるプローブ付き半導体レーザの斜視図と断面図である。

【図3】本発明の第2の実施例の光情報記録再生装置の光ヘッド近傍の斜視図である。

【図4】本発明の光情報記録再生装置の記録、再生原理を説明する図である。

【図5】本発明の光ヘッドの光情報再生の原理を説明する図である。

【図6】本発明の光情報記録再生装置のトラッキング方式の一例を説明する図である。

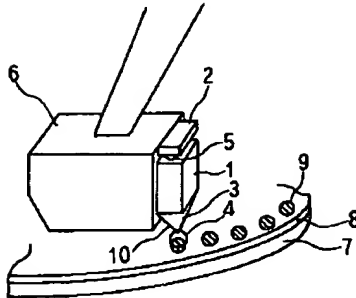
20 【図7】本発明の光情報記録再生装置の一実施例の模式図である。

## 【符号の説明】

- 1、31…半導体レーザ
- 2…光検出器
- 3、32…プローブ
- 4…エバネセント光
- 5…レーザ光
- 6…浮上スライダ
- 7…基板
- 30 8…相変化記録媒体
- 9…光記録ドメイン
- 10…白金膜
- 21…n型GaAs基板
- 22、24…クラッド層
- 23…活性層
- 25…コンタクト層
- 26…電流障壁層
- 27…キャップ層
- 28…金電極
- 40 61…プリピット
- 62…トラック中心
- 63…ディスク
- 64…サーボ領域
- 65…データ領域
- 66…光ビーム
- 71…モータ
- 72…スライダ
- 73…トラッキング／アクセスドライバ
- 74…走査制御回路
- 50 75…信号処理回路

【図1】

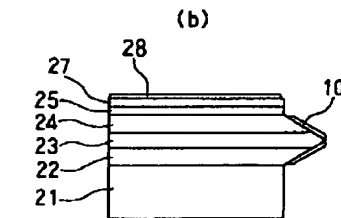
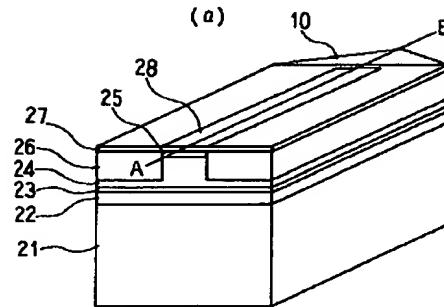
図1



- 1…半導体レーザー 5…レーザ光  
2…光検出器 6…浮上スライダ  
3…プローブ 9…光記録ドメイン  
4…エバネセント光 10…白金膜

【図2】

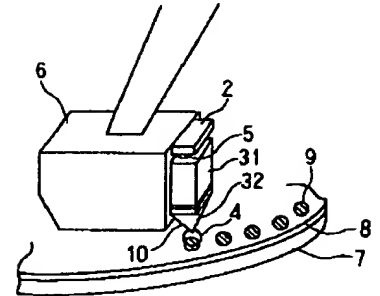
図2



- 22, 24…クラッド層 26…電流障壁層  
23…活性層 27…ギャップ層  
25…コンタクト層

【図3】

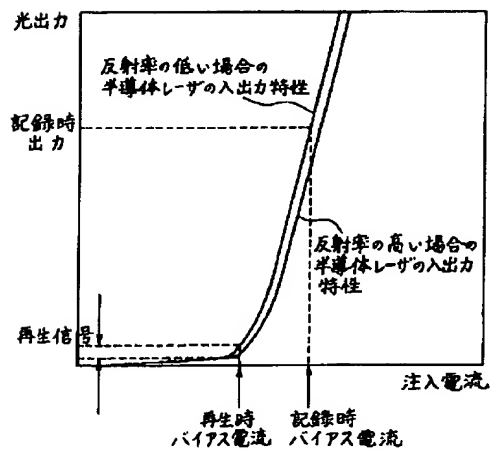
図3



- 2…光検出器 9…光記録ドメイン  
4…エバネセント光 10…白金膜  
5…レーザ光 31…半導体レーザー  
6…浮上スライダ 32…プローブ

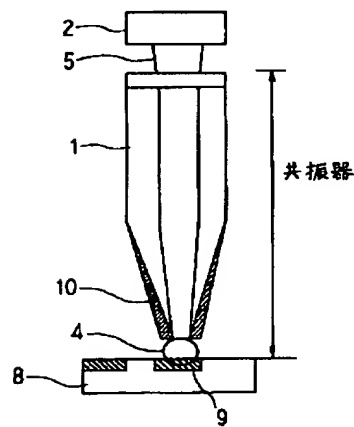
【図4】

図4



【図5】

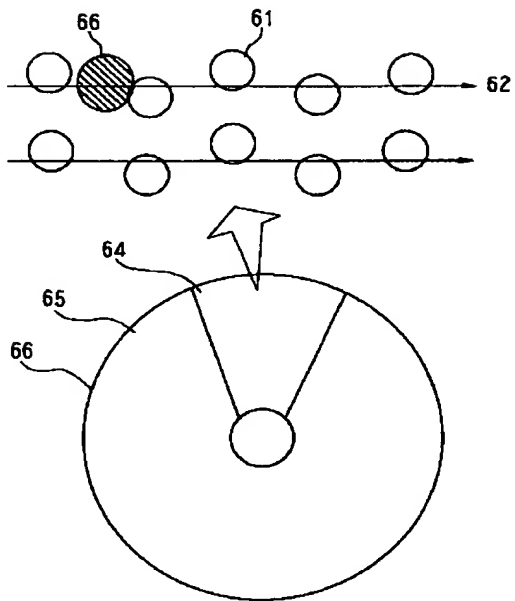
図5



- 1…半導体レーザー 5…レーザ光  
2…光検出器 9…光記録ドメイン  
4…エバネセント光 10…白金膜

【図6】

図6

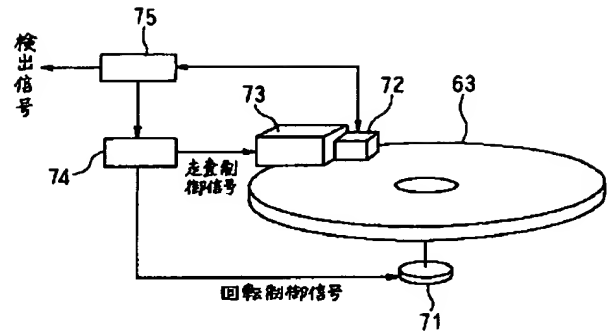


61…プリピット  
62…トラック中心  
64…サーボ領域

65…データ領域  
66…光ビーム

【図7】

図7



71…モータ  
72…スライダ  
73…トラッキング/アクセスドライバ  
74…走査制御回路  
75…信号処理回路

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08306062 A**

(43) Date of publication of application: **22.11.96**

(51) Int. Cl

**G11B 7/135**

(21) Application number: **07111580**

(22) Date of filing: **10.05.95**

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(72) Inventor: **ITOU AKITOMO  
SHINTANI TOSHIMICHI**

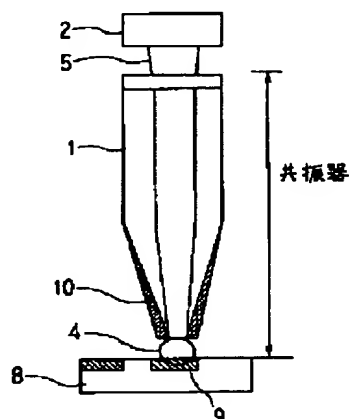
(54) **OPTICAL HEAD AND OPTICAL INFORMATION  
RECORDING AND REPRODUCING DEVICE**

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain an optical head which is suitable for use in a small-sized optical information recording and reproducing device of an ultra-high density and to improve economic efficiency.

CONSTITUTION: This optical head is provided with a photodetector 2 for detecting laser beam emitted from a semiconductor laser 1 on the mirror side in one direction of this laser and is provided with a probe consisting of a semiconductor material as a means for generating evanescent light 4 on the side opposite to this mirror. The one end face itself of the semiconductor laser 1 may be formed as the probe. Information is recorded on a recording medium by the evanescent light 4 generated from the probe.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**